

Mineração de resíduos – contributo para a Economia Circular. Estudo piloto na Ilha Terceira, Açores

Maria Ekström^a, Sónia Silva^{a,}, Paulo Monjardino^b*

^a TERAMB, Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da Ilha Terceira, Canada do Sidral, n.º 55, São Bento, Portugal

^b Universidade dos Açores, Centro de Biotecnologia dos Açores, Rua Capitão João d'Ávila 40, Campus de Angra do Heroísmo, Portugal

Resumo

A TERAMB EM implementou, em 2016, um projeto piloto de valorização de resíduos provenientes da mineração de aterro, considerada como operação de valorização conforme o novo regime de deposição de resíduos em aterro. Os objetivos do projeto são a diminuição de um passivo ambiental e a deposição negativa em aterro. A economia circular afasta-se do conceito linear de “extração, produção e eliminação”, focando-se no “fecho do ciclo” em toda a cadeia de valor incluindo a dinamização de redes de retoma, reutilização, remanufatura ou reciclagem. O projeto piloto implementado permitiu avaliar a exequibilidade da reconversão de seis bolsas de aterro de resíduos banais em espaços verdes e a recuperação de 70% no material escavado para recuperação energética e multimaterial ao longo de cinco anos. Os objetivos traçados foram atingidos, apresentando o aterro um saldo negativo no geral da atividade da instalação e foram valorizadas cerca de 19.000 toneladas de passivo ambiental. Concluiu-se ser uma operação tecnicamente viável, mas que está condicionada pela viabilidade económica, pelo que os equipamentos a usar devem ser selecionados criteriosamente, bem como o diagrama processual.

Palavras-Chave: mineração de resíduos, passivo ambiental, reconversão de resíduos, deposição negativa em aterro.

doi: 10.22181/aer.2022.1003

* Autor para correspondência
E-mail: sonia.silva@teramb.pt

Mining landfills- supporting Circular Economy. A pilot study in Terceira Island, Azores

Maria Ekström^a, Sónia Silva^{a,}, Paulo Monjardino^b*

^a TERAMB, Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da Ilha Terceira, Canada do Sidral, n.º 55, São Bento, Portugal

^b Universidade dos Açores, Centro de Biotecnologia dos Açores, Rua Capitão João d'Ávila 40, Campus de Angra do Heroísmo, Portugal

Abstract

TERAMB EM implemented, in 2016, a pilot project of waste recovery from landfill mining, which is currently considered as a waste recovery operation under the new waste disposal regime in landfills. The project's objectives are the reduction of an environmental liability and negative landfill. The circular economy moves away from the linear concept of "extraction, production and disposal", focusing on "closing the cycle" throughout the value chain, including the dynamization of networks for recovery, reuse, remanufacturing or recycling. The implemented pilot project allowed to evaluate the feasibility of the reconversion of six landfill cells into green areas and the recovery of 70% of mined residues for energy production recycling for five years. The objectives were fulfilled, the landfill has a negative deposition rate and there was a decrease of 19.000 tons of residues. Landfill mining is technically feasible, but care must be taken regarding its economic feasibility, therefore the equipment have to be carefully chosen, as well as the flow process.

Keywords: waste mining, environmental liabilities, waste reconversion, negative landfill.

doi: 10.22181/aer.2022.1003

* Corresponding author
E-mail: sonia.silva@teramb.pt

1 Introdução

A mineração de aterros, também designada como LFMR, da terminologia anglo-saxónica “Landfill Mining and Reclamation”, é o processo pelo qual os resíduos que tenham sido previamente depositados em aterro são retirados e sujeitos a uma recuperação obtendo-se materiais recicláveis, matéria combustível e fração solo. Esta noção foi recentemente ampliada, integrando o conceito de avaliação do ciclo de vida, tomando a designação de ELFM, “Enhanced Landfill Mining Concept”, definindo-se como um processo que engloba “...o acondicionamento dos resíduos e respetiva extração do biogás, a escavação posterior com a valorização integrada dos diversos fluxos de resíduos e respetiva energia contida nestes, utilizando-se tecnologias de transformação inovadoras respeitando os mais rigorosos critérios sociais, legais e ambientais” (Jones et al. 2012). A inovação deste conceito, como refere Jones et al. (2012) é considerar dois tipos de mineração: *in situ*, pela extração de biogás e *ex situ* as subsequentes ações após o encerramento da bolsa.

A mineração, adiante designada como LFMR, envolve uma série de processos e operações unitárias mecânicas que podem ser simples recorrendo apenas ao uso de maquinaria tradicional, ou a procedimentos mais complexos destinados a recuperar materiais adicionais e a melhorar a sua qualidade.

Nos últimos 70 anos foram realizados vários projetos LFMR em diversos países e continentes, destacando-se o primeiro que se conhece realizado em Israel, no ano de 1953 (Barlow et al. 2008, Ford et al. 2013). Foram também desenvolvidos diversos projetos nos Estados Unidos da América e na União Europeia, o primeiro dos quais reportado decorreu na Alemanha, em 1993, seguindo-se alguns no Norte de Europa (Hogland et al. 2012). Realizaram-se ainda diversos estudos de viabilidade como os Ford et al. (2013), Quaghebeur et al. (2010), Horth (2006) e Reno Sam (2009) e a sua aplicabilidade para a Dinamarca. Atualmente está em curso o projeto RAWFILL (INTERREG NORTH-WEST EUROPE), que pretende uma análise custo-benefício, a partir de diversos casos piloto.

A TERAMB, Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da ilha Terceira, realizou um estudo custo-benefício, com base no estado da arte à altura, tendo implementado numa primeira fase o projeto piloto em 2015. Evoluiu posteriormente com base em conhecimentos adquiridos e considerando o início da atividade duma central de valorização energética, para a implementação do estudo e deu início à atividade de mineração de uma das bolsas do aterro sanitário. Volvidos cinco anos, considerando os benefícios resultantes, candidatou o projeto ao Programa Operacional Açores 2020 (POACORES2020) de forma a adequar o processo face à experiência entretanto obtida.

Como refere Jones et al. (2012), o ciclo de vida dos materiais, por consequência, a garantia de funcionamento da Economia Circular, só será possível pela conjugação da reciclagem, recuperação e mineração, representado na Figura 1.

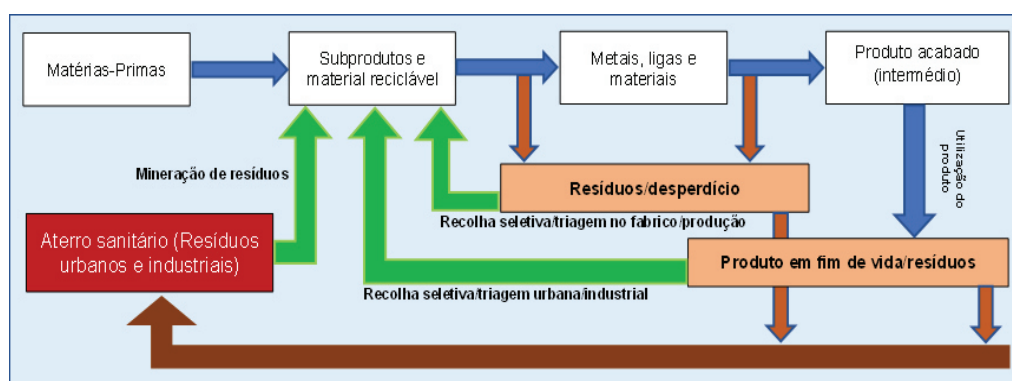


Figura 1. O contributo da mineração de resíduos, em aterros sanitários, para a economia circular (adaptado de Jones et al. 2013)

2 Caso de estudo

2.1 Situação de Referência

O Aterro localiza-se no Biscoito da Achada, na Freguesia de Ribeirinha, no concelho da Angra do Heroísmo, Ilha Terceira, no Arquipélago dos Açores e destinou-se à deposição exclusiva de resíduos sólidos urbanos e equiparados, produzidos nos concelhos de Angra do Heroísmo e da Praia Vitória, até final de 2015. Recebeu resíduos sólidos urbanos (RSU) recolhidos indiferenciadamente, monstros, resíduos de construção e demolição (RCD) de obras que não careçam de licenciamento, resíduos verdes e subprodutos de origem animal.

Está em exploração desde 1995, com uma área total de cerca de 40 ha, estando já ocupados cerca de 15 ha. Atualmente apresenta oito células de deposição de resíduos urbanos e equiparados, com uma deposição média anual de cerca de 33.000 toneladas, até 2015, e uma célula para deposição de resíduos perigosos, que entrou em exploração em 2016, destinada essencialmente à deposição de cinzas inertizadas da Central de Valorização. As primeiras bolsas foram construídas com base no estado da arte à altura. Apresentam problemas de impermeabilização de fundo, uma vez que não se observa produção de lixiviado.

Neste aterro existe uma antiga lixeira localizada na zona noroeste do recinto, com cerca de 30 anos e ocupando uma área aproximada de 5 ha. Não está selada nem tem sistema de drenagem de lixiviados, apresentando, atualmente, alguma vegetação emergente.

Até à entrada em funcionamento das novas infraestruturas de valorização energética e orgânica, em 2016, apenas se recorria ao confinamento técnico. Das cerca de 40.000 ton/ano de resíduos que anualmente deram entrada nas instalações aproximadamente 30.000 ton/ano foram depositados em bolsa, representando a componente doméstica, resultante da recolha de indiferenciados dos municípios, aproximadamente 75%. Hoje em dia, estando em pleno funcionamento a Central de Valorização Orgânica (CVO), a Central de Processamento de Subprodutos de Origem Animal (CPSA) e a Central de Valorização Energética (CVE), apenas são encaminhados para deposição em aterro os resíduos não passíveis de valorização, nomeadamente resíduos do desarenamento e gradados de estações de tratamento de águas residuais, resíduos de limpezas de esgotos e solos contaminados.

A quantidade de resíduos depositados em aterro, nomeadamente em bolsa, inclui a fração doméstica, refugo da reciclagem e outro tipo de resíduos (RIB, madeiras, RCD, lamas, etc.), representando-se na Figura 2 a evolução global ao longo do tempo.

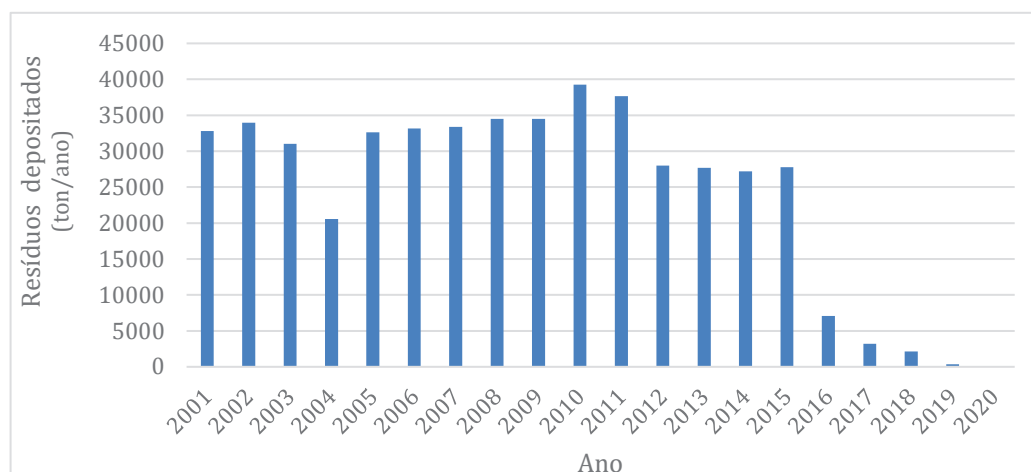


Figura 2. Quantidade de resíduos depositados em aterro

Relativamente à composição física dos resíduos urbanos indiferenciados depositados, estes são constituídos essencialmente por materiais fermentáveis, cerca de 40 a 50%, seguindo-se o papel/cartão, vidro, plástico e têxteis, que no conjunto representam aproximadamente 40%. As fileiras menos representativas são os metais, compósitos, outros resíduos e os finos.

2.2 Plano de Mineração

2.2.1 Pressupostos

Para o desenvolvimento do Plano foram considerados os dados referentes ao histórico de exploração do aterro, à tipologia dos resíduos depositados e pressupostos enunciados no Quadro 1.

Quadro 1. Pressupostos do Plano de Mineração

Item	Valor	Observações
Bolsas a explorar	6	Bolsas
Quantidade de resíduos depositados em bolsa (ton)	714.000	Considerando que foram depositados 34.000 ton/ano desde 1995 a 2015
Profundidade de escavação nas bolsas (m)	7	Não se irá escavar abaixo da cota de 4 m, conforme recomendado, pelo que apenas 70% destes resíduos serão minerados
Quantidade de resíduos estimados na antiga lixeira (ton)	485.100	Área de 5 ha com profundidade média de 5 m
Quantidade total de resíduos a minar (ton)	984.900	70% resíduos das bolsas 2 à 7 e a totalidade de resíduos da antiga lixeira
Área a minerar (ha)	17	Bolsas 2 a 7 e antiga lixeira
Composição dos resíduos	Urbanos e equiparados	Presença de resíduos especiais de alguns resíduos especiais como RCD e sucata na antiga lixeira

2.2.2 Objetivos do Projeto

Os objetivos do projeto são os seguintes:

- Diminuição do passivo ambiental e da possível contaminação do aquífero;
- Recuperação paisagística com espécies arbóreas;
- Recuperação de materiais ferrosos;
- Produção de CDR.

2.2.3 Modelo conceptual inicial

Tendo em conta o estado da arte e as tecnologias atualmente disponíveis no mercado, assim como as características específicas do aterro, o modelo conceptual estabelecido teve como princípio o seguinte diagrama processual: escavação, trituração; separação granulométrica com recurso a trommel e separação de metais ferrosos.

Considerando que os equipamentos de separação mais avançados, como os densimétricos, não estão bem comprovados na mineração, não foram considerados no modelo (LLC 2009). Na Figura 3 apresenta-se o diagrama do processo, de forma geral, para o modelo técnico proposto.

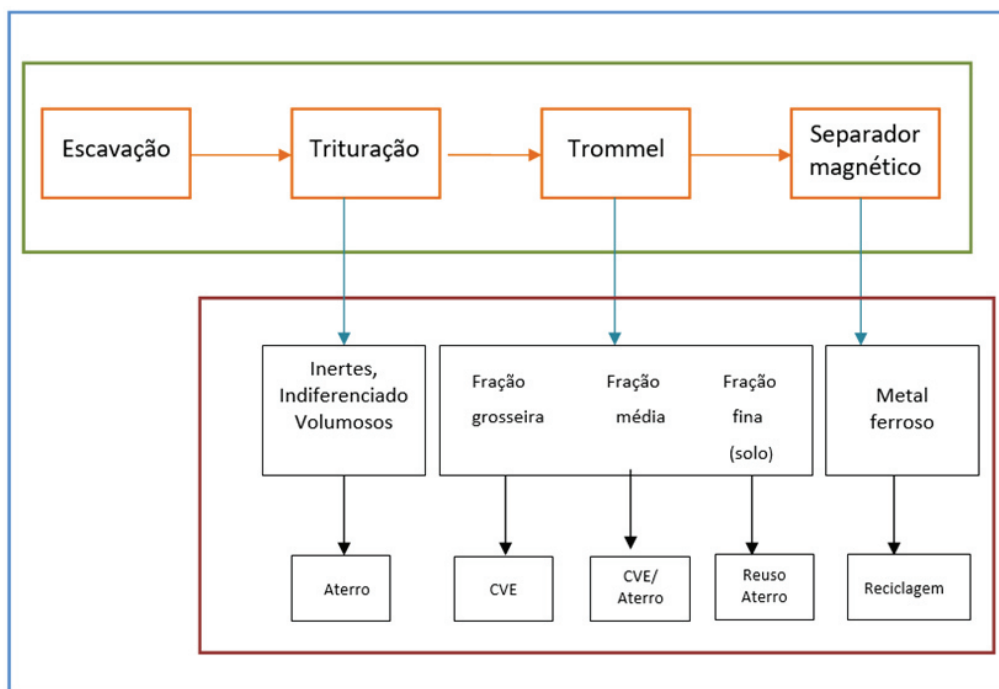


Figura 3. Diagrama processual inicial

Admitiu-se, para efeitos de dimensionamento, que a unidade irá funcionar 960 horas/ano, em virtude das limitações climáticas. Na ausência de uma caracterização fidedigna, tendo por base a revisão bibliográfica realizada e o estado da arte, considerou-se o rendimento da triagem de 20 ton/hora, pelo que seriam necessários 26 anos para escavar os 17 ha de aterro.

3 Descrição da unidade de mineração

Após um estudo de diagnóstico, implementou-se um projeto piloto de mineração para recuperação de uma bolsa. Durante esta fase procedeu-se à locação da maioria dos equipamentos e ao reajuste do diagrama processual inicial. Esta etapa encontra-se completa, tendo-se procedido a diversas melhorias que contribuíram para a análise da sua viabilidade, assim como a aquisição de alguns equipamentos.

Atualmente os equipamentos na unidade são os seguintes:

- 1 Giratória;
- 1 Camião;
- 1 Máquina para alimentação dos equipamentos (pá carregadora);
- 1 Separador/Trommel com malha de 80 mm;
- 1 Triturador.

O previsto no diagrama processual inicial não se mostrou eficaz tendo-se trocado a etapa da trituração com a do tromel. Assim, após a remoção em bolsa e secagem ao ar livre (escavação), os resíduos são encaminhados para o trommel para separação de finos (< 80 mm) e grosseiros (>80 mm). Na passadeira de grosseiros segue-se a triagem manual para resíduos inertes (pedra e sucata). Após esta separação, a fração grosseira segue para trituração num triturador primário de martelos, onde se obtém um material de granulometria inferior a 350 mm, posteriormente enviado para a CVE onde, após a valorização energética, são recuperados os metais ferrosos. Os finos são devolvidos ao aterro como terras de cobertura. Nas Figuras 4 e 5 é possível observar os equipamentos e os produtos resultantes do processo.



Figura 4. Equipamentos para a mineração (giratória, trommel e triturador)



Figura 5. Resíduos minerados antes (à esquerda) e depois do pré-tratamento (à direita)

4 Resultados

4.1 Recuperação do Passivo Ambiental

Nos 5 anos de operação recuperaram-se cerca de 27.000 toneladas de resíduos, com um rendimento de 3,5 ton/h. Os resíduos extraídos por este processo são compostos essencialmente por plástico, madeira, borracha, metais, têxteis, pedras e fração fina. A fração valorizável energeticamente ou multimaterial situou-se nos 70%, enquanto a restante fração, composta essencialmente por solo com terras e pedras, representou cerca de 30% e teve como destino a cobertura de aterro.

Como resultado obteve-se cerca de 19.000 toneladas de CDR passível de ser valorizado energeticamente. No Quadro 2 apresentam-se os resíduos recuperados, evidenciando o saldo de deposição negativa alcançado.

Quadro 2. Recuperação do passivo ambiental pela mineração

Ano	Resíduos recuperados das bolsas (Ton)	Resíduos depositados em bolsas (ton)	Saldo (Ton)
2016	10.880,06	7.092,80	-3.787,26
2017	3.337,48	3.332,849	-4,63
2018	8.399,55	3.267,14	-5.132,41
2019	1.111,65	906,46	-205,19
2020	3.160,00	1.659,26	-1500,74

Salienta-se a importância desta atividade ter de ocorrer apenas na época de estio, ou em pavilhão coberto, para permitir a secagem do produto escavado, condição essencial para a obtenção de um CDR com poder calorífico aceitável, tanto em termos de humidade como de separação de finos.

4.2 Resultados operacionais

A leitura da demonstração de resultados por funções, observável no Quadro 3, terá de ter em consideração que se imputou na atividade da mineração o custo de tratamento na CVE e o benefício indireto resultante da produção de eletricidade, em função do rendimento real da valorização energética (400 kWh/ton de resíduos valorizados energeticamente).

Os resultados operacionais revelam que a valorização energética é uma operação positiva, mas que as atividades de pré-tratamento dos Subprodutos de Origem Animal (SPOA) e da mineração apresentam resultados negativos. Contudo, saliente-se que a atividade da mineração cumpriu com os objetivos traçados, nomeadamente, diminuiu o passivo ambiental, reduzindo a área de bolsas de aterro, e contribuiu para um saldo de deposição negativa em aterro, no universo da atividade da instalação.

Quadro 3. Resultados operacionais para o ano 2020

Descrição	Valorização Energética	Valorização SPOA	Mineração
Resíduos tratados (ton)	39.000,00	5.151,92	3.160,00
Vendas e Prestações de Serviços (€)	2.273.931,59	287.949,72	0,00
Benefício indireto (€)	0,00	2.27.508,79	139.545,60
Custos Operacionais (€)	2.054.041,68	524.262,25	165.970,20
Custo unitário (€/ton)	52,67	54.43 €	23,07 €
Resultados Operacionais (€)	219.889,92	-8.803,74	-26.424,60

Atualmente o projeto encontra-se no quinto ano de execução, verificando-se a sua viabilidade e a deposição negativa em aterro, como esperado. No entanto, é necessário melhorar a atividade, quer na eficiência quer na produtividade e ainda na qualidade do material recuperado, uma vez que é uma atividade ainda predominantemente manual e sazonal em virtude das condições climáticas.

As principais dificuldades prenderam-se essencialmente com a escavação, com as “bolsas de SPOAS” encontradas no aterro e com a necessidade de recurso a triagem manual de inertes da fração > 80 mm à saída do trommel. Como tem sido uma atividade realizada no exterior, as condições climáticas revelaram-se uma grande limitação, nomeadamente pelo vento e a chuva que, à falta de espaço coberto para secagem, comprometem a separação de terras e finos no trommel bem como a qualidade do CDR.

5 Conclusão e perspetivas futuras

O estudo piloto realizado na Ilha Terceira, nos Açores, permitiu concluir que, tecnicamente, a mineração é uma operação viável, mas que está condicionada pela viabilidade económica, pelo que os equipamentos a usar devem ser selecionados criteriosamente, bem como o diagrama processual. Apresenta as seguintes vantagens:

- Deposição negativa em aterro;
- Produção de CDR e valorização de metal ferroso;
- Recuperação/reparação do sistema de impermeabilização, da rede de lixiviados e do biogás das bolsas mais antigas;
- Aproveitamento de resíduos colocados em bolsa e de terras para cobertura de novas bolsas, contribuindo, portanto, para a valorização dos recursos locais endógenos.

Com base nos conhecimentos adquiridos neste estudo piloto, candidatou-se um projeto a financiamento comunitário no montante de 1.728.496,45 €, que mereceu aprovação, estando já em fase de execução e com conclusão prevista para o ano de 2023. O projeto contempla a aquisição de equipamentos e a construção de uma infraestrutura, junto à fossa da CVE, que permitirá realizar a operação em espaço coberto, durante todo o ano, de forma totalmente mecanizada e mais rentável.

Também por estes motivos e, fundamentalmente, por uma atitude inovadora, que contribui para a eliminação de um passivo ambiental, o projeto apresenta uma evolução tecnológica significativa face àquilo que é o comum nos Açores e agiliza a valorização ambiental da zona onde será instalado. Visa responder ao cumprimento dos objetivos regionais de proteção e qualificação dos recursos hídricos pela remoção de um passivo ambiental e contribui para o aumento da reciclagem pela recuperação de metais.

Ressalve-se que o projeto prevê a reconversão de bolsas para espaços para plantio de espécies arbóreas, destinado atualmente a aterro (e, portanto, sem qualquer capacidade de criação de valor), que favorecerá a eliminação de um passivo ambiental muito relevante e permitirá uma valorização de resíduos na ótica de hierarquias de tratamento.

Referências

- Barlow C., Iqbal W., Ashton S. (2008). Landfill mining. University of Cambridge. Institute of Manufacturing, Department of Engineering. Disponível em: www.srccf.ucam.org/awtbi/documents/landfillmining.pdf. Acedido em março 2021.
- Hogland W., Hogland M., Bhatnagar A., Kaczala F., Kriipsalu M. (2012). Closing the life cycle of landfills - landfill mining in the baltic sea region for future. Linnaeus ECO-TECH 2012. <https://www.semanticscholar.org/paper/Studies-on-Landfill-Mining-at-Randegan-Landfill-Rini/1f382a7ced8ccca90f1148e2c582556b2b44ba06>
- Horth H. (2006). Assessment of the feasibility of landfill mining in Norfolk. MSc Thesis. School of Environmental Sciences, University of East Anglia, UK.
- Jones P. T., Geysen D., Tieleman Y., van Passel S., Pontikes Y., Blanpain B., Quaghebeur M., Hoekstra N. (2013). Enhanced landfill mining in view of multiple resource recovery: a critical review. Journal of Cleaner Production 55, 45–55. 10.1016/j.jclepro.2012.05.021
- LLC, Innovative Waste Consulting Services, Florida Department of Environmental Protection. (2009). Landfill reclamation demonstration project prepared for: Perdido Landfill, Escambia County Neighborhood and Community Services Bureau Division of Solid Waste Management
- Ford S., Warrem K., Lorton C., Smithers R., Read A., Hudgins M. (2013). Feasibility and viability of landfill mining and reclamation in scotland - scoping study. Scotland, ZWS / Ricardo-AEA, 99 www.zerowastescotland.org.uk
- INTERREG NORTH_WEST EUROPE - RAWFILL: supporting a new circular economy for RAW materials recovered from landFILLS. [Em linha]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/supporting-a-new-circular-economy-for-raw-materials-recovered-from-landfills/>>. Acedido em setembro 2021
- Quaghebeur M., Laenen B., Nielsen P., Geysen D. (2010). Valorisation of materials within enhanced landfill mining: what is feasible?. Disponível em: http://www.elfm.eu/uploads/elfm/file_9485e0fc-4712-43f9-aa1a-56860a1c5854.pdf. Acedido em setembro 2021
- Reno Sam. (2009). Landfill mining process, feasibility, economy, benefits and limitations. [Em linha]. Disponível em WWW: <URL: https://www.researchgate.net/publication/287210621_Landfill_Mining_-_Process_Feasibility_Economy_Benefits_and_Limitations>. Acedido em setembro 2021